

交通系统高等学校内部教材

船舶机舱自动化

汪仲山 方达生 程树良 编



武汉交通科技大学

船舶机舱自动化

汪仲山 方达生 程树良 合编

陈秉光教授主审

武汉华中科技大学

交通系统高等学校内部教材

船舶机舱自动化

汪仲山 方达生 程树良 编

责任编辑:徐祖兴

封面设计:肖小平

武汉交通科技大学内部出版

武汉水运印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:336.4千

1994年7月第1版 1994年7月第1次印刷

印数:0001~0500 成本定价:14.6

修订版序言

本书是根据“船舶机舱自动化”修订小组制订的编写大纲编写的。它适用于船舶动力装置专业及轮机管理专业的教学使用。亦可作为航运部门科技人员和轮机管理人员参考。

本书第一版于1984年出版,这次修订是在原板的基础上,吸收了多年来的教学实践经验后,对编写内容作了较大的修改与补充。除保持原版主机遥控系统的基本内容外,主要对自动化仪表和动力系统自动化部分作了调整,删去了程序控制系统一章,并增加了集中监测和计算机在机舱自动化中应用部分,因而,反映了船舶机舱自动化的发展需要。

本书是按50~60学时的要求修订的。全书共九章。其中第一章为船舶机舱自动化的基本概念;第二章为自动调节基础;第三章是船用典型调节器及主要调节系统;第四章为主机遥控的基本概念;第五~六章为主机遥控气动和电动系统;第七章为辅助设备自动控制;第八章是监测、报警系统;第九章为计算机在机舱自动化中应用。

本书在修订过程中,原版参加合编的陈明昭和朱之垣因另有任务未能参加修订。各章编写人为:汪仲山负责第一~第五章的编写,并对第六章作了删减与补充;方达生负责第七~八章编写;程树良负责第九章编写。全书由汪仲山负责统稿。最后由湛江水产学院陈秉光教授主审,并提出许多宝贵意见,借此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中肯定有不少缺点和错误,望读者和专家们批评指正。

编者

1993年6月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 机舱自动化的基本概念和基本内容	(1)
第二节 机舱自动化的意义	(3)
第三节 机舱自动化发展概况	(4)
第二章 自动调节基础	(6)
第一节 自动调节系统的组成及分类	(6)
第二节 自动调节系统特性	(9)
第三节 调节对象特性及其对调节过程的影响	(11)
第四节 双位调节器特性	(20)
第五节 比例调节器特性	(21)
第六节 比例积分调节器特性	(27)
第七节 比例微分调节器特性	(31)
第八节 比例积分微分调节器特性	(35)
第九节 调节系统的参数整定	(36)
第三章 船用典型调节器及其调节系统	(38)
第一节 双位调节器	(38)
第二节 直接式调节器	(39)
第三节 船用气动调节器	(41)
第四节 电动调节器概述	(59)
第五节 VAF 型燃油粘度自动调节系统实例	(62)
第四章 主机遥控系统基础	(69)
第一节 主机遥控系统的基本概念	(69)
第二节 主机遥控系统的组成及分类	(71)
第三节 基本逻辑回路	(72)
第四节 主机遥控系统基本要求和性能指标	(78)
第五章 主机气动遥控系统	(81)
第一节 气动操纵器	(81)
第二节 气动遥控系统常用元件	(84)
第三节 气动执行机构	(95)
第四节 气动遥控系统实例	(98)
第五节 NAN-V-40/54A 型柴油机气动遥控系统	(101)
第六章 柴油机电动遥控系统	(114)
第一节 典型随动遥控系统的组成	(114)
第二节 电动遥控系统的指令发讯器	(115)

第三节	相敏整流方向鉴别器.....	(120)
第四节	直流开关放大器.....	(127)
第五节	电动遥控系统执行电路.....	(134)
第六节	电动随动遥控系统实例.....	(135)
第七节	电动程序遥控系统实例.....	(143)
第七章	机舱辅助设备的自动控制.....	(148)
第一节	泵的自动控制.....	(148)
第二节	空气压缩机的自动控制.....	(152)
第三节	分油机的自动控制.....	(158)
第四节	油水分离器及滤器的自动控制.....	(164)
第五节	辅助锅炉的自动控制.....	(172)
第八章	机舱集中报警监视.....	(188)
第一节	机舱集中报警监视.....	(188)
第二节	车钟记录仪.....	(199)
第九章	微型计算机在机舱自动化中应用.....	(202)
第一节	控制系统微型计算机硬件电路简介.....	(202)
第二节	机舱自动化中常用微型计算机系统的功能.....	(207)
第三节	微机在主机遥控系统中的应用实例.....	(211)
参考文献	(223)

第一章 概 述

船舶机舱自动化是船舶自动化的重要组成部分,也是现代化船舶重要标志之一。船舶自动化包括:(1)驾驶自动化,如自动舵、自动定位、自动选择最佳航线和自动避让等;(2)装卸和压载的自动化,如油轮装卸,压仓注、排水自动化,冷芷仓温、湿度自动调节等;(3)行政管理、医疗、卫生方面的自动化;(4)动力装置自动化,由于船舶动力设备大都集中在机舱,故又称机舱自动化。机舱自动化是这些自动化中最常见、最基本的内容之一。本章除介绍机舱自动化的基本概念和内容之外,还对机舱自动化的意义和发展概况作简要地叙述。

第一节 机舱自动化的基本概念

一、机舱自动化的基本概念

为了保证船舶的正常航行,值班轮机人员必须对机舱内各种机、电设备或系统进行各种操作。例如,操纵主机的启动、换向、变速及停车,启动或停止各种辅机,开大或关小各种阀门等。如果这些操作不是由轮机人员去完成,而是通过配备在机电设备或系统上的自动化仪表或装置来完成,则这种用自动化的手段来管理动力装置的办法称为动力装置自动化,又称机舱自动化。

所谓自动化是自动控制的一个统称。在船舶机舱内,就其控制任务来说,种类繁多,举不胜举。但就其控制性质来分,不外乎有连续控制和断续控制两大类。这两大类又广义地称为自动控制。连续控制是指被控量(被控参数)不管扰动有多大,都能紧跟给定值连续变化的系统。断续控制的被控量是开关量。如果控制系统输出变量的有或无取决于逻辑条件,或取决于时间先后次序,或是操作的顺序,则这种控制系统又称为程序控制。

通常,我们把要求实现自动控制的机器设备称为制控对象(如柴油机、锅炉及其他机电设备),表征对象是否正常工作而需要加以控制的物理量称为被控量。自动控制装置是指对控制对象起控制作用的设备总称。如调节器、自动化仪表、计算机及各种类型的控制装置等。

自动控制系统是指能够对控制对象的工作状态进行自动控制的整个系统。也就是,自动控制系统是由控制对象和控制装置相结合构成的。

在对机舱各种机电设备进行自动控制的时候,为了得到良好的控制效果,必须根据控制对象的特性,选择所需要的控制装置组成自动控制系统,并让它在最佳的工作条件下运行,使整个控制系统满足船舶航行的需要。

二、机舱自动化的基本内容

由于船舶动力装置所包括的机电设备种类繁多,并且其自动化的任务和要求也各不相同,因此机舱自动化所涉及的内容十分广泛。对不同的船舶,实现自动化的项目、内容和水平均不相同,它可以从自动控制和监视某个运行参数、自动操作某个机器设备,到实现整个动力装置的自动控制和他理。目前就自动化程度最高的“无人值班机舱”来说,其自动化的内容,概括起

来包括以下五个方面。

1. 参数自动调节

为了保证机舱各种机电设备的正常工作。对某些重要的运行参数必须保持在一定的范围内。参数自动调节就是借助于调节器或自动化仪表来完成这一任务的。在机舱内常见的参数自动调节系统有：

(1)压力自动调节。如柴油机中的滑油压力自动调节；压缩空气系统中的空气压力自动调节；蒸汽锅炉中的蒸汽压力自动调节等。

(2)温度自动调节。如柴油机中的滑油温度、冷却水温度自动调节；燃油加热温度自动调节等。

(3)液位自动调节。如日用油柜的油位自动调节；锅炉水位自动调节；压力水柜中水位自动调节等。

(4)燃油粘度自动调节。现代船舶特别是在远洋大型船舶动力装置中，为了合理地利用能源、降低运输成本，大多用重油作为柴油机燃料。在这类船舶上，通过燃油粘度调节器调节燃油加热温度间接控制燃油粘度的调节过程，称为粘度自动调节。

2. 远距离控制系统

凡是离开机旁对该机进行操纵的系统称为远距离控制系统，简称遥控。例如在驾驶室或集中控制室（在机舱振动较小的地方设一个房间，该房间隔音、空调）操纵主机；在集中控制室启动或停止发电机、锅炉、舱底水泵及开关一些有关的阀门，如货油阀、压载水阀等。

对机器设备的遥控，特别是对柴油主机的遥控，不单单是操纵地点的改变，从发送车令到柴油机运行状态的改变，其间有一套复杂的逻辑程序控制系统，通过这套控制系统保证准确、安全和可靠地遥控机器设备。

3. 自动启停、自动切换系统

自动启停是指机舱各辅机和泵浦的自动启停、自动开关和自动切换。例如空气压缩机根据空气瓶的压力进行启停。当空气压力低于下限值时，自动启动空压机向空气瓶充气。当空气瓶压力达到上限值时，自动停止空压机的工作。又如滑油滤清器的自动清洗；离心式分油机的自动排渣；还有阀门的自动开关等。

自动切换是指某些泵浦和辅机在运行中发生故障的情况下，能自动启动备用泵浦和辅机使之投入工作，并自动停止故障泵浦和辅机的工作。例如柴油主机备用滑油泵自动启停与切换；备用柴油发电机的自动启动、调速、并车、停车以及当某运行机组发生故障时自动切换至另一台机组等。

4. 自动监视和报警系统

为了确保动力装置安全可靠地运行，机舱中所有设备的运行参数都要送到集中控制室，用检测仪表和灯光进行显示，以便随时了解各种主要运行参数的数值和设备运行的状况，并自动作下记录。当参数越限，机器设备运行不正常或机舱有火警，都会发出声光报警信号，并直通轮机长、值班轮机员及全船的公共场所，以便召唤轮机员及时下机舱处理故障。同时，定时地自动打印运行参数数值，代替轮机人员抄写轮机日志，在操纵柴油主机时，能自动记录车钟车令。

5. 安全保护系统

安全保护是机舱自动化的必要补充。当主辅机在运行中出现不正常情况时，应及时自动采取安全保护措施，以免引起严重的事故。例如，柴油机冷却水温度过高，压力过低；滑油温度过高，压力过低；主机飞车或主轴承温度过高等，其保护系统就应立即使主机降速，甚至迫使停

车。又如辅锅炉突然熄火或水位过低,其保护系统就应立即停止供油,使其熄火。

上述五个方面是实现“无人机舱”必备的自动化内容,对于各种船舶的机舱,其自动化程度各有不同。有些船具有某些单项自动化,有些船只有主机驾驶室遥控,有的船设有集中控制室进行集中监视和报警,有的船可实现定期(8 h、16 h、甚至 32 h)无人值班机舱,有的船不仅有常规的自动化,还设有计算机监控。

第三节 机舱自动化的意义

船舶机舱自动化的发展,不仅能加速实现船舶现代化的进程,而且对航运事业也能带来明显的经济效益和社会效益。

一、保证动力装置的正常运行,提高动力装置的技术性能

自动调节系统能保证动力装置在运行中的一些重要参数处于正常范围以内,从而保证了机电设备和系统的正常工作。例如锅炉因水位太低而易烧损,太高则蒸汽湿度过大,采用水位自动调节可避免水位过高或过低。柴油机在负荷变动时,转速会发生变化,这种变化对运行不利,如作发电动力使用时,还影响发电频率和电压,降低供电质量。采用转速自动调节后,就可避免转速太高或太低。柴油主机采用驾驶室或集控室进行遥控后,不需通过车钟向轮机员发指令,然后再由轮机员亲手操纵柴油机。由于免除这些中间环节,可使船舶运行工况应变迅速,反应自如,提高了机动性。

二、降低燃料及动力消耗,提高船舶营运的经济性

实现机舱自动化以后,轮机设备能保持在较佳的运行状态,使得运行效率提高和设备寿命延长,从而降低燃料和动力消耗。例如,维持柴油机的冷却水温在最有利的范围内,就可减少冷却水带走的热量,使柴油机的热效率提高,一般能使效率提高 1.5%~2% 左右。

三、保证动力装置的安全,提高运行的可靠性

自动化装置能及时发现机舱设备的故障,并随时采取处理措施,从而防止事故的发生,保证了运行安全。例如,主机遥控系统能自动按规定的顺序操纵柴油机,可避免人工直接操纵时由于疏忽或技术不熟练而引起的机械损坏,监测报警系统随时监视动力装置的运行并及时报警,使故障还未发展到损坏或严重损坏机械设备前就提醒轮机管理人员,使他们去排除这些故障。有些自动化装置还能自动采取应急处理措施,这就更提高了运行的可靠性。

四、减轻了轮机人员的劳动强度,改善了劳动条件

在没有设置机舱自动化设备的船舶上,轮机人员必须在机舱内值班,以便随时执行驾驶室发来的操车指令;观察各设备运行参数的变化,并及时进行调节,使设备可靠地运行。这对内河船舶特别是长江上游航行的船舶来说,轮机人员不仅处在温度高、噪音大、油气污染严重的机舱恶劣环境中工作,而且还处在主机用车频繁的紧张劳动中。如果实现了机舱自动化,则机舱设备的操作可部分地或全部地由自动化装置来完成。在设有集中控制的船舶上,轮机人员仅在集控室值班和短时期下机舱作巡回检查即可,而无须长期处在机舱的恶劣环境中。在“无人机舱”的船舶上,轮机人员还可从晚间值班中解放出来。这不仅对减轻船员的体力劳动,改善船员的劳动条件有明显的效果,而且对减少船员人数,降低工资支出及船员在船上生活所需的支出

也有重要意义。

五、减少设备的维修次数,提高船舶的营运率

在机舱自动化的船舶上,由于船轮机人员可从值班岗位上解放出来,去组织有计划的检查和维修工作,以提高设备的技术完好率,使一艘船在一年中完成更多的任务,减少修船费用,延长停航修理周期,提高了船舶的营运率。国外一些资料表明,70年代的自动化程度高的船,其营运率比50年代自动化程度低的船大约高14%。另外,监测报警系统也可使机损事故减少,提高营运率和减少修船费用。当采用故障诊断技术后,可使检修更合理。

综合以上所述,可以看到不断提高船舶机舱自动化的程度,逐步向“无人机舱”和“超自动化船”的方向发展,不仅是我国造船和航运事业迅速发展的需要,而且是实现四个现代化的要求。因此,我们必须努力学习,掌握好机舱自动化的新技术,在不断提高和完善自动化装置的基础上,设计出更好的机舱自动化系统来,为我国的航运事业的发展作出贡献。

第四节 机舱自动化发展概况

船舶机舱自动化是现代船舶技术发展的主要方面之一,近三十余年来世界各造船国家把它作为一项专门技术来考虑,因而发展很快。其发展过程大致可以分如下几个阶段。

60年代以前,重点是发展机舱主要设备的单机自动化,如锅炉水位的自动调节,以及其他各种热工参数的自动调节等。但那时的自动化设备只是作为被调对象的附件来考虑的,而未形成一个完整的控制系统,并且其控制精度和可靠性也较差。

1960年~1964年逐步发展到机舱集中控制和较广泛地采用主机驾驶室遥控。1961年,日本建成世界上第一艘机舱集中监视和遥控的“金华山丸”(9800t)货轮,只需一人值班,自动化内容扩展到主机遥控、排气温度自动记录、空压机远距离操纵及自动化、辅锅炉全自动、净油机自动操作、滑油滤器自动清洗、油和水温度自动调节等。机舱中设有集控室。船员总数减少到37人。此船引起了世界各国极大的关注。此后,机舱集控和主机驾驶室遥控系统就迅速发展起来。这就是机舱自动化发展的第一阶段。

1965~1968年间开始发展定期无人值班机舱的船,简称“无人机舱船”。所谓无人机舱,而机舱的设备的启停、运行状态和有否事故的检测无须值班人员到机舱进行,而仅在集控室或居住舱室依靠自动化设备、报警装置就可以有效地进行观察和了解。由于主辅机和各种自动化设备可靠性的日益提高,在正常运行时,很少需要人员去照料。为了进一步减少船员,就实现了18h、24h,甚至36h无人值班的机舱。1965年日本为丹麦建造的柴油机船“Andorra”号是世界上最早的两艘无人机舱船。此后,西德、法国等地也相继建造了无人机舱船。到1968年,各国向英国劳氏船级社登记的无人机舱船已达228艘。这是船舶自动化技术发展的第二阶段。

从1969年开始,船舶自动化技术发展到第三阶段,即采用计算机全面技术管理的所谓“超自动化船”。它的主要特点是跳出了机舱自动化的范畴,除了机舱动力系统外,在导航、船体、装卸、报务甚至医疗等方面实现了全盘自动化。

70年代中期以来,随着微型计算机的发展,出现了超自动化船的所谓第二代电子计算机控制方式,即用多台微型计算机分别控制不同的对象,所以这种方式又称分散控制方式。它与采用一台大型计算机的集中控制系统相比较,不仅体积小,重量轻,可靠性高,而且成本低、维护管理方便。

目前国外机舱自动化的发展动向主要有:

(1)开展“超自动化船”的技术研究工作,进一步提高自动化程度;(2)监测对象的扩大,特别是采用人工智能的自动化仪表,监测柴油机气缸内部工况的新型传感器已经实用化;(3)后备系统的完善,运行设备一旦出现故障报警,要求由船员迅速处理是困难的,必须设置完善后备系统自动投入工作;(4)随着微型计算机在船舶自动化方面应用的扩大,将实现最优化控制,使设备在最佳效率下运行,以达到高度节能的目的。

随着以节能为中心的“未来型船舶”的问世,机舱自动化的水平会进一步提高,其方向是用计算机对机舱运行全面的技术管理。如自动进行故障诊断,预报所需检修的项目和时间;所需零件的存放位置;随时进行热平衡计算和分析等。

我国自60年代开始就对机舱自动化进行了研究。其后除了为6ESD60/108型和12V300型柴油机研制成功了气动和电动遥控装置外,同时也研制出一些单机自动化设备,但由自动化元件不配套,设备的可靠性差,所以技术发展较慢,直到70年代后期,随着四化建设的发展,机舱自动化才有了较大的进步。目前内河船舶主机遥控装置得到了广泛应用,机舱集中控制也正在逐步推广。在远洋和沿海船舶上,机舱自动化水平有了较快的提高,新建造和引进的船舶一般都符合无人机舱的要求。随着科学技术的迅速发展,更高水平的机舱自动化需要我们去追求,去探索,去开发。

第二章 自动调节基础

船舶动力装置是一个综合的热力系统,它的正常运行是由一系列运行参数所表征。如温度、压力、液位、流量、粘度和转速等。自动调节系统的任务就是利用调节仪表对运行参数进行自动调节,使之保持在所设定的值上。本章在介绍自动调节系统的组成及基本概念的基础上,通过对调节对象和调节器的特性分析,掌握自动调节系统的一般设计方法和正确使用中应注意的问题。

第一节 自动调节系统的组成及分类

自动调节系统是指能够对调节对象的工作状态进行自动调节的系统。也就是说,自动调节系统是由调节对象和调节仪表(常广义地称为调节器)相结合构成的。尽管在机舱自动化中,所要调节的运行参数较多,调节系统的结构形式也不相同,但它们的组成单元及工作过程基本上是一致的。下面以柴油机气缸冷却水温度自动调节系统为例(图 2-1),说明其组成及工作原理。

一、系统的组成及工作过程

自动调节系统是在人工手动调节的基础上建立发展起来的。如图 2-1 所示,在手动调节的过程中,轮机人员必须用眼睛经常注视着温度表 4,观察柴油机输出的冷却水温度的变化,并由大脑进行思考与判断,发出调节指令,最后用手操作三通阀,改变经冷却器和不经冷却器的旁通水量的比例,把由柴油机输出的冷却水温度保持在设定值附近。由此可见,在进行手动调节过程中,轮机人员必须时刻用“眼”“脑”“手”协调动作。

在自动调节过程中,实际上是模拟人工操作过程,即用各种自动调节仪表来实现人的“眼”“脑”“手”的功能。即用测量仪表(包括感温元件 5 和温度变送器 6)代替人的眼睛,连续地监视冷却水温度的实际值。测量仪表输出的信号送至调节器 7,调节器代替人的大脑起运算和判断作用,并根据所采用的调节器的作用规律(如位式作用,比例作用,比例积分作用,比例微分作用,比例积分微分作用)输出调节信号至执行机构 8,执行机构相当于人的双手,它根据调节器输出的调节指令,调节三通调节阀 9 的开度大小,改变经冷却器和不经冷却器旁通水的比例,保持冷却水温度在设定

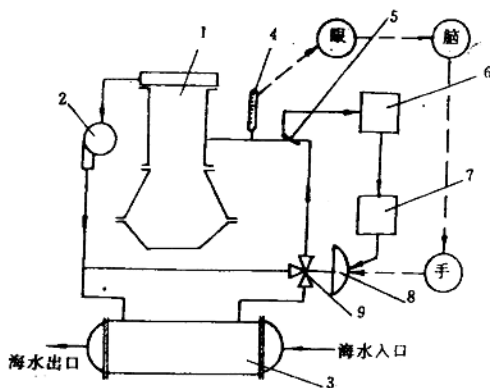


图 2-1 柴油机气缸冷却水温度自动调节系统示意图

- 1-柴油机;2-淡水泵;3-淡水冷却器;
- 4-温度表;5-感温元件;6-温度变送器;
- 7-调节器;8-执行机构;9-三通调节阀

值或设定值附近。

上述分析,虽然只是针对柴油机气缸冷却水温度调节系统来分析的,但对各种运行参数的调节系统而言,其组成的基本单元是相同的。它包括:

(1)调节对象。它是指被调节的生产设备,如热交换器、柴油机、锅炉、水柜等。在柴油机气缸冷却水温度自动调节系统中,淡水冷却器是调节对象,冷却水温度是被调量。

(2)测量单元。它是用来测量被调量的实际值,并转换成一个统一的标准信号。在气动调节系统中,输出是 19.6~98.1kPa 气压信号,在电动调节系统中,输出是 0~10mA 或 4~20mA 电流信号。在上例中,测量单元由感温元件和温度变送器组成。

(3)调节单元。调节单元首先把被调量的设定值(又称给定值)与测量值进行比较得到偏差值,再根据偏差值的大小与方向(正偏差还是负偏差),在调节单元中依据某种作用规律输出一个调节指令信号。

(4)执行机构。它是执行调节单元的调节指令,直接作用在调节阀上,改变流入调节对象的物质流量或能量,使被调量回到给定值上。在气动调节系统中,执行机构一般是气动薄膜调节阀或气动活塞调节阀。在电动调节系统中,一般是可逆转伺服电动机或三相交流伺服电机。

为了更清楚地表示一个自动调节系统各个组成单元的地位和作用,及各个单元之间的信号传递关系,一般都用方框图来表示调节系统的组成。为此,我们可以不考虑各单元的具体结构形式和特点,而把每个单元抽象成一个方框,各方框之间用带箭头的信号线连接起来,就构成了自动调节系统的传递方框图。如图 2-1 的温度调节系统,可以用图 2-2 的方框图来表示。

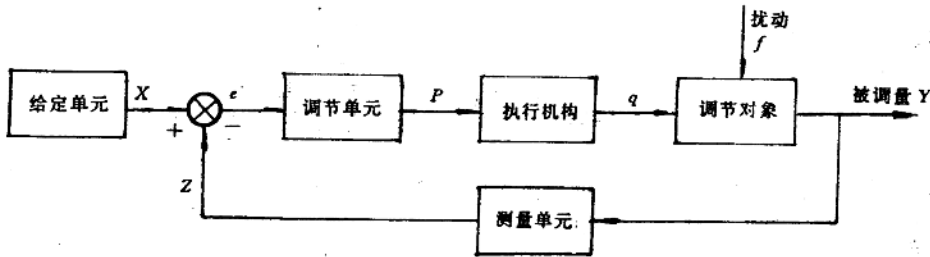


图 2-2 调节系统传递方框图

这样的传递方框图实用于各种运行参数的自动调节系统,具有普遍意义。在传递方框图中的每一个方框都代表一个具体实物。一个方框称为一个环节。每个环节都接受前一个环节的作用,称为环节的输入量,同时它又输出一个信号对后一个环节施加作用,称为环节的输出量。环节的输出量变化取决于输入量和环节本身的特性,而输出量变化不会反过来影响输入量,这就是信号传递的单向性。

图中 Y 表示被调量(冷却水温度),它是调节对象(冷却器)的输出量。图中 f 表示系统所受的扰动,即主机负荷变化引起了冷却水温度的变化,它作用在调节对象上。

在这里必须指出,扰动是破坏系统平衡的不可避免的客观存在。因此,消除扰动的影响是自动调节系统的根本任务。由于扰动的出现是没有固定的形式,且多半属于随机的性质,所以在分析和设计系统时,常常采用阶跃式的扰动形式。

图中的 X 是给定值, Z 是测量值。显然, $e = X - Z$ 是偏差值。偏差值的大小和方向是通过比较机构获得的,在图中用符号 $X \rightarrow \otimes \xrightarrow{+} e$ 表示。比较机构是调节单元的一部分,而不是独立元件,图中把它独立划出来,是为了说明其比较作用。图中的“+”“-”是表示给定值为正,测量

值为负,两者的作用是相反的。偏差 e 是调节单元的输入量, P 是调节单元的输出量。当 $e=0$ 时,说明被调量的测量值等于给定值,调节单元不产生调节作用。当 $e>0$ 或 $e<0$ 时,调节单元就产生调节作用,输出调节指令信号,力图达到消除偏差的目的。

调节指令信号 P 是执行机构的输入量, q 是输出量——三通调节阀的开度。而调节阀对调节对象施加调节作用,以克服扰动的影响。

从图 2-2 的自动调节系统传递方框图中可以看出,任何一个信号沿着箭头所示的方向前进,最后回到原来的起点。这从信号传递的角度来说,成为一个闭合的回路。象这样的系统就称为闭环系统。这个系统的输出量是被调量 Y ,把它经过测量单元引入到系统的输入端与给定值进行比较的做法称为反馈。当反馈量与给定值的符号相反时,称为负反馈,负反馈的结果使被调量的变化量减少。当反馈量与给定值的符号相同时,称为正反馈,正反馈的结果使被调量的变化量增加。可见机舱热力设备的自动调节系统一定要采用负反馈的闭环系统。

如果系统的输出量没有被引入到输入端,也就是没有采用反馈,那么,这样的系统就称为开环系统。机舱中的自动测量、自动操纵和自动报警等均属于开环系统。图 2-3 所示为开环系

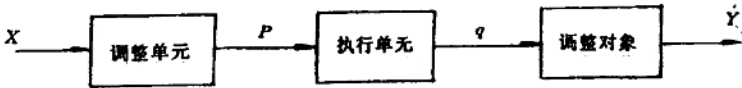


图 2-3 开环系统方框图

统的方框图。开环系统不对被调量进行测量和反馈,而一般只根据人的意志按一定程序或规律来调节被调量,它无法进行自动调节。

二、自动调节系统的分类

自动调节系统有多种分类方法,但通常是按以下几种方法分类:

1. 按所采用的能源分类

自动调节系统分为气动调节系统和电动调节系统。在气动调节系统中,用压缩空气作为能源。气源压力为 137kPa。各种气动单元调节仪表输入和输出信号为标准的气压信号 19.6~98.1kPa。在电动调节系统中,用电能作为能源。各种电动单元仪表的输入和输出信号为标准电流信号 0~10mA 或 4~20mA。

2. 按调节仪表的结构形式来分类

按调节仪表的结构形式可分为单元组合仪表和基地式仪表。若把调节仪表各种单元之间用标准信号联接起来,叫做单元组合仪表。若把测量单元、显示单元和调节器组装成一台仪表,在这台仪表中,虽然仍有测量、显示和调节等功能,但在结构上它们已是不可分割的整体,因而它们之间也不用标准信号加以联系,这种仪表叫做基地式仪表。

3. 按给定值的形式分类

调节系统按给定值的形式可分为定值调节系统、随动控制系统和程序控制系统。在定值调节系统中,给定值是不变的。当系统受到扰动作用后,被调量的测量值会离开定值出现偏差,调节系统的作用是逐渐消除偏差,使被调量最终回到原来的给定值。在机舱中大多数运行参数的自动调节系统,均属于定值调节系统。一般在调节器上都有一个给定值调整旋钮,可以对给定值进行人工整定。当旋钮位置固定以后,调节系统的给定值就不再改变。

在随动控制系统中,给定值是随机变化的,它相对于时间的变化规律是事先无法知道的。

系统控制的作用,是被控量始终跟随给定值的变化而变化。例如船舶的舵控系统属于此类。

在程序控制系统中,给定值也是变化的,其变化是根据生产过的要求,由人们事先安排的一个时间函数,如主柴油机换向、启动的程序控制系统和辅锅炉的自动点火程序控制系统等就属于此类。

第二节 自动调节系统特性

一、调节系统的静态和动态

在自动调节系统中,被调量不随时间而变化的状态称为系统的静态,也称稳态。被调量随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态。

当自动调节系统的输入(给定值或扰动量)恒定不变时,整个系统处于一种相对的静止状态,这时系统的各个环节,如变送器、调节单元和执行机构等暂时不动,其输出信号都处于相对静止状态——静态。在这里要注意一点,所谓静态,不要认为系统的各参数为零,而是各参数的变化率为零。下面仍以主机气缸冷却水温度自动调节系统为例说明系统的静态和动态。

当流入冷却器的水量和流入主机冷却系统的水量恒定、系统的扰动量 $f=0$ 、且 $Y=X$,即被调量的变化为零时,系统处于静态。一旦系统受到扰动作用($f \neq 0$)使平衡被破坏时,被调量就会发生变化,调节器就会开始调节以消除扰动的影响,使系统恢复到平衡状态。在从扰动发生到经过调节而重新恢复到平衡的这段时间内,系统的各个环节和输入、输出量都处在变动之中,这种变化的状态就是动态。

在自动调节系统中,了解系统的静态是必要的,而了解系统的动态则更为必要。因为扰动引起系统失去平衡后,需要知道系统中的被调量、物质流量等是如何变化的;要研究系统能否重新实现平衡和怎样实现平衡,所以研究自动调节系统的重点就是研究系统的动态。

二、调节系统的动态

自动调节系统处于动态时,被调量随时间变化的过程,称为调节系统的动态过程,即系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程,故又称过渡过程。这个过程所需的时间,叫做过渡过程时间。在动态过程中,不同的时刻,系统的输出量(被调量)值是不同的,它是时间的函数,其随时间变化的规律取决于调节对象的特性以及各种仪表,特别是调节器的特性。被调量随时间变化的关系曲线称调节过程曲线(也叫过渡过程曲线)。衡量一个调节系统的性能好坏,主要是依据调节过程曲线,该曲线通常是在阶跃扰动作用下被调量的变化过程,如图 2-4 所示。

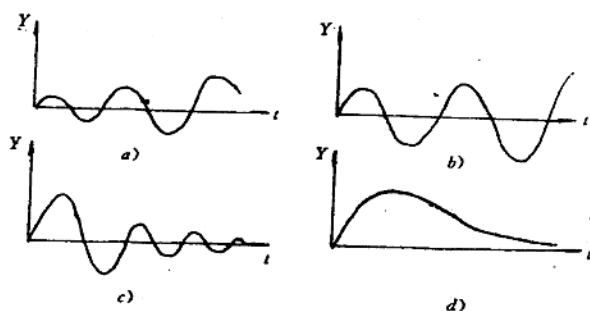


图 2-4 调节系统几种调节过程曲线
a) 发散振荡; b) 等幅振荡; c) 衰减振荡; d) 单调振荡

如果调节系统受到扰动作用后,经过调节作用能够达到新的平衡状态,即被调量能够达到新的稳态值,那么这样的过程称为稳定的过渡过程。稳定的过渡过程又分为两种情况:衰减振荡过程和非周期振荡(单调)过程。如图 2-4c)、d)所示。对于一个调节系统,如果调节器的作用规律和控制能力选择得合适,那么它的过渡过程只波动二、三次就稳定下来,如图中 c)。这时系统的动态精度和稳态精度都比较高,调节过程时间也比较短,系统受到扰动后,被调量能较快地达到新的稳态。因此,这是比较理想的调节过程。图中 d)被调量没有波动,稳定性最好,但其动态精度和稳态精度都不高,调节过程时间也比较长,这种情况相当于调节器控制能力大太弱,是不可取的。

自动调节系统受到扰动作用后,如果被调量的变化随时间呈发散振荡或等幅振荡情形,则这样的调节过程叫做不稳定的调节过程,如图 2-4a)、b)所示。图中 a)为发散振荡过程曲线,它是不能采用的,因为被调量的变化越来越大,会给调节系统造成不良的后果,图中 b)所示的曲线是等幅振荡的情形,这种调节过程中的被调量是等幅度不断变化,使系统处于稳定与不稳定之间,即所谓临界稳定,它居于不稳定的范畴,因此这样的调节过程也是不能采用的。

三、评定调节系统动态过程的品质指标

评定一个自动调节系统的好坏,可以先用实验的方法或通过理论分析的方法求出调节过程曲线,然后依此进行分析、评定。由于衰减振荡的调节过程是我们所希望的过程,所以这里以它作为讨论调节过程品质指标的依据。图 2-5 所示为系统在阶跃扰动作用下所产生衰减振荡的调节过程一般形式。图中 a)为外部扰动的调节过程;图中 b)为改变给定值的调节过程。前者是定值调节过程,后者是随动控制过程。

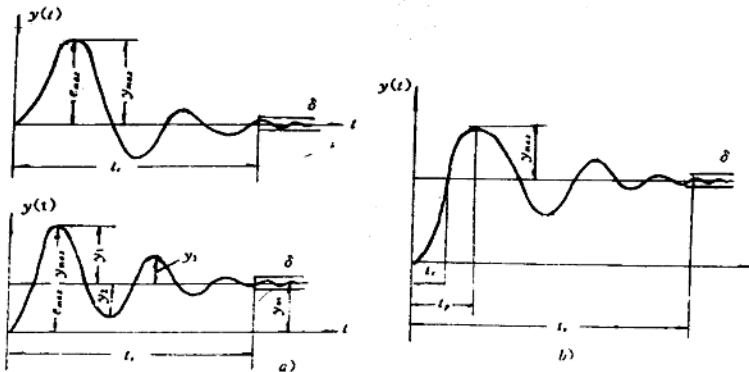


图 2-5 系统调节过程品质指标示意图
a) 阶跃扰动作用时; b) 阶跃给定作用时

评定调节系统动态过程的质量好坏,主要是看其稳定性、准确性和快速性。但对定值调节系统和随动控制系统其指标有些相同,也有些不同。

对于定值调节系统是用最大动态偏差、衰减率、调节过程时间及静态偏差等指标来评定其动态过程品质。如图 2-5a)所示

(1) 衰减率 ψ 、在衰减振荡中,衰减率是指每经过一周期,被调量波动的幅值衰减的百分数,即

$$\psi = \frac{y_1 - y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{y_1}$$

式中: y_1 ——第一个波的幅值

y_2 ——第三个波的幅值。

ψ 是衡量系统稳定性的指标。当 $\psi > 0$ 时, 系统是稳定的, 但也不能认为 ψ 愈大系统性能愈好。例如, 当 $\psi = 1$ 时, 其过程的时间延长, 动态偏差也大。因此, 一般希望 $\psi = 0.75 \sim 0.9$ 范围内。

(2) 最大动态偏差 e_{max} 。它是指被调量偏离给定值的最大短期偏差, 即图 2-5a) 中第一个波幅的高度。 e_{max} 越大, 动态精度越低, 调节过程时间越长。

(3) 调节过程时间 t_s 。它是指调节系统受到扰动作用开始到被调量重新稳定下来所需的时间。从理论上讲, 这个时间是无穷大, 这对评定调节过程是没有意义的。因此, 我们这样来定义调节过程时间 t_s : 当 $t \geq t_s$ 时, 满足

$$\frac{|y(t) - y(\infty)|}{y(\infty)} \leq \delta\%$$

式中: $y(t)$ ——输出被调量;

$y(\infty)$ ——最终稳态值;

δ ——给定的微量值。一般取 $\delta = 2\% \sim 5\%$

上式的物理意义是, 当被调量的波动值小于, 或等于新稳态值 $y(\infty)$ 的 $2\% \sim 5\%$ 就认为动态过程结束, 所需要的时间就是 t_s 。显然它反映了调节过程的快速性。

(4) 静态偏差(稳态误差) ϵ , 它是指调节过程结束以后, 被调量的新稳态值与给定值之间的差值。 ϵ 越小, 说明系统的稳态精度越高。

对于随动控制系统可用上升时间、峰值时间、超调量及调节过程时间和静态偏差等指标来评定其动态过程的品质。如图 2-5b 所示。

上升时间 t_r 是指被调量从初始平衡状态上升到第一次达到新稳态值 $y(\infty)$ 所需的时间。峰值时间 t_p 是指被调量从初始平衡状态上升到第一个峰值 y_{max} 所需的时间。 t_r 、 t_p 是反映调节系统动态过程进行快慢的指标。 t_r 、 t_p 越小, 说明系统惯性越小, 动态过程进行得快。

(5) 超调量 δp 。在调节过程中, 输出量的第一个波峰值 y_{max} 减去新稳态值 $y(\infty)$ 与新稳态值 $y(\infty)$ 之比, 即

$$\delta p = \frac{y_{max} - |y(\infty)|}{|y(\infty)|}$$

超调量 δp , 常用百分数表示, 它是评定系统稳定指标。 δp 越小, 说明动态过程进行得平稳。 δp 太小, 系统动态过程的波动虽然很小, 但过渡过程时间会加长; 若 δp 太大, 动态过程的振荡倾向明显增大, 被调量在较长时间内稳定不下来, 也会延长过渡过程时间。关于过渡过程时间 t_s 和静态偏差 ϵ 的意义与前述相同, 不再重述。

第三节 调节对象特性及其对调节过程的影响

调节对象是调节系统的基本环节之一, 它的特性对调节系统的性能有着根本的影响。为了保证调节系统有一个良好的工作品质, 对调节系统各个组成单元, 特别是调节器的结构类型, 作用规律及参数的确定, 都是以调节对象的特性为依据进行选择 and 调整。

在机舱中有各种不同用途的调节对象, 如锅炉、冷却器、加热器、液体和气体容器、柴油主